

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ҐРУНТУ НА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

В.С. Цих, І.Р. Ващишак, А.В. Яворський, А.П. Кім

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Abstract: The problems that may arise during buried pipelines coating testing are described. The analytical model of dependence between soil resistivity and phase displacement of the signal is achieved. The diagrams of phase displacement variance depending on disbondment insulated coating capacity for buried pipelines which are located in different types of soils while measuring on frequencies of 8 and 33 kHz are obtained.

На даний час у сучасному нафтогазовому комплексі транспортування нафти, газу та нафтопродуктів здійснюється за допомогою складної розгалуженої системи трубопроводів. Значна частина таких мереж працює понад свій нормативний термін експлуатації. За таких умов проведення своєчасного та достовірного технічного діагностування трубопроводів є штатною технологічною операцією. У нафтогазовій галузі використовується значна кількість методів і засобів контролю технічного стану підземних трубопроводів. Однією з основних складових даного діагностування є контроль стану ізоляційного покриття, оскільки саме пошкодження ізоляції є однією з першопричин розвитку корозійних процесів металу таких трубопроводних мереж. Серед можливих дефектів ізоляційного покриття виділяємо наскрізні пошкодження та відшарування ізоляції [1]. Особливо ускладненим є діагностування трубопроводів в умовах складних технологічних об'єктів нафтогазового комплексу – газокомпресорних, нафтоперекачувальних станцій, для яких є характерною значна кількість суміжних комунікацій та сторонніх завад. Крім того, значну складність контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів можуть спричинити різні типи ґрунтів, які зустрічаються в місцях пролягання таких комунікацій.

Дослідниками запропоновані різні методи та методики контролю підземних трубопроводів [2-7]. Варто зазначити, що більша частина досліджень спрямовані на вирішення проблем, які пов'язані з контролем магістральних ділянок підземних трубопроводів значної протяжності. Також акцент в даних дослідженнях робиться на контроль трубопроводів, які знаходяться в ґрунтах одного типу.

Проведені в [8, 9] роботи спрямовані на вивчення можливості контролювати ізоляційне покриття підземних трубопроводів, які знаходяться у вологих ґрунтах. Але, в даному випадку, питання впливу різних типів ґрунтів (глина, суглинки, пісок та ін.) також залишається недослідженим.

Таким чином, виникає необхідність вирішення питання щодо правильного оцінювання впливу характеристик ґрунту, який оточує досліджуваний трубопровід, на контроль підземних трубопроводів та, відповідно, на виявлення дефектів їх ізоляційного покриття.

З метою максимально точного виявлення місця дефекту ізоляції авторами запропоновано по чергову застосовувати два електромагнітні методи контролю: фазовий та амплітудний [1]. Однак у наведених залежностях в [1] приймалося, що тип ґрунту на досліджуваній ділянці є однорідним, а самі дослідження поширювалися тільки на підземні трубопроводи, які оточені ґрунтовим середовищем одного типу. Для розширення сфери застосування отриманих теоретичних залежностей необхідно додатково проаналізувати вплив зміни питомого опору ґрунту на досліджуваних ділянках підземних трубопроводів.

Для оцінювання впливу оточуючого ґрунту, необхідно у отримані раніше залежності [1] ввести додатковий параметр опору, який оцінюємо на основі електричних параметрів наявного ґрунтового покриття.

З цією метою з використанням стабілізованого джерела струму та за допомогою чотирьохелектродної установки [10] були проведені вимірювання питомого опору різних типів оточуючих середовищ, які можуть мати місце на ділянках пролягання підземних трубопроводів. Отримані результати вимірювань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення питомого опору різного роду середовищ, які оточують підземний трубопровід

Вид ґрунту	Питомий опір, середнє значення (Ом·м)
Глина	20 – 50
Гравій	360 – 750
Пісок вологий	120 – 350
Пісок зволожений	350 – 2000
Пісок сухий	2000 – 3900
Суглинок	90 – 140
Щебінь вологий	3000
Щебінь сухий	5000

На основі проведених раніше досліджень [1] отримана теоретична залежність для визначення зсуву фази вимірювального сигналу у випадку наявності різних ґрунтових покриттів для бездефектних ділянок трубопроводів:

$$\varphi = 2\pi f \sqrt{\frac{R_C(L_P + L_{S1} + L_{S2})C_C}{Z_i + R_0 + R_C + R_S}} \quad (1)$$

де Z_i – вхідний опір генератора, який задається його технічними характеристиками, Ом; R_0 – опір розтіканню струмів у ґрунт з досліджуваного трубопроводу, Ом/м; R_C – погонний опір ізоляційного покриття, Ом/м; R_S – погонний опір оточуючого ґрунтового середовища, Ом/м; L_P – погонна індуктивність трубопроводу, Гн/м; L_{S1} – внутрішня індуктивність ґрунту як провідника, який оточує досліджуваний трубопровід, Гн/м; L_{S2} – зовнішня індуктивність трубопроводу, Гн/м; C_C – ємність ізоляційного покриття, Ф; f – робоча частота, Гц; φ – зсув фази вихідного сигналу відносно вхідного, рад.

Параметр L_{S1} розраховується згідно наступної залежності, в яку входить значення питомого опору ґрунту:

$$L_{S1} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot (5.98 - \ln(r_P + \delta_C) \sqrt{f / \rho_S}), \quad (2)$$

де r_P – зовнішній радіус досліджуваного підземного трубопроводу, м; δ_C – товщина ізоляційного покриття, м; f – частота змінного струму генератора, Гц; ρ_S – питомий опір ґрунту, який оточує досліджуваний трубопровід, Ом·м.

На рис. 1 наведена залежність зміни внутрішньої індуктивності ґрунту як провідника, що оточує досліджуваний трубопровід, від питомого опору оточуючого ґрунту. Розрахунки проведені для ділянки підземного трубопроводу діаметром 720 мм, з шаром ізоляційного покриття, товщиною 5 мм, при використанні робочої частоти генератора величиною 33 кГц. Вибір оптимальної частоти контролю насамперед пов'язаний із умовами, в яких розміщується досліджуваний трубопровід, а також залежно від довжини досліджуваної ділянки [1, 10, 11].

На основі залежності (1) та досліджень, наведених в [1], встановлена аналітична модель зміни зсуву фази залежно від ємності відшарування ізоляційного покриття підземних трубопроводів, які розміщуються в ґрунтах із різним питомим опором:

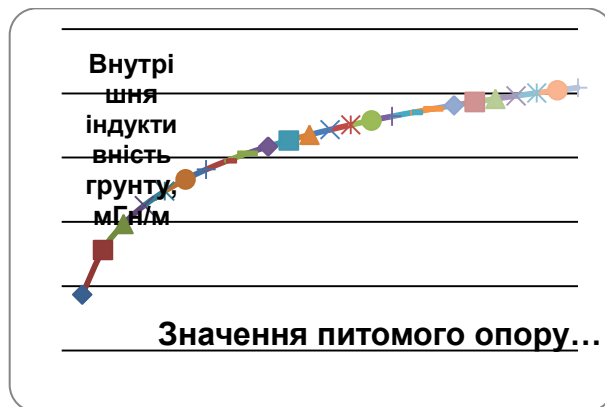


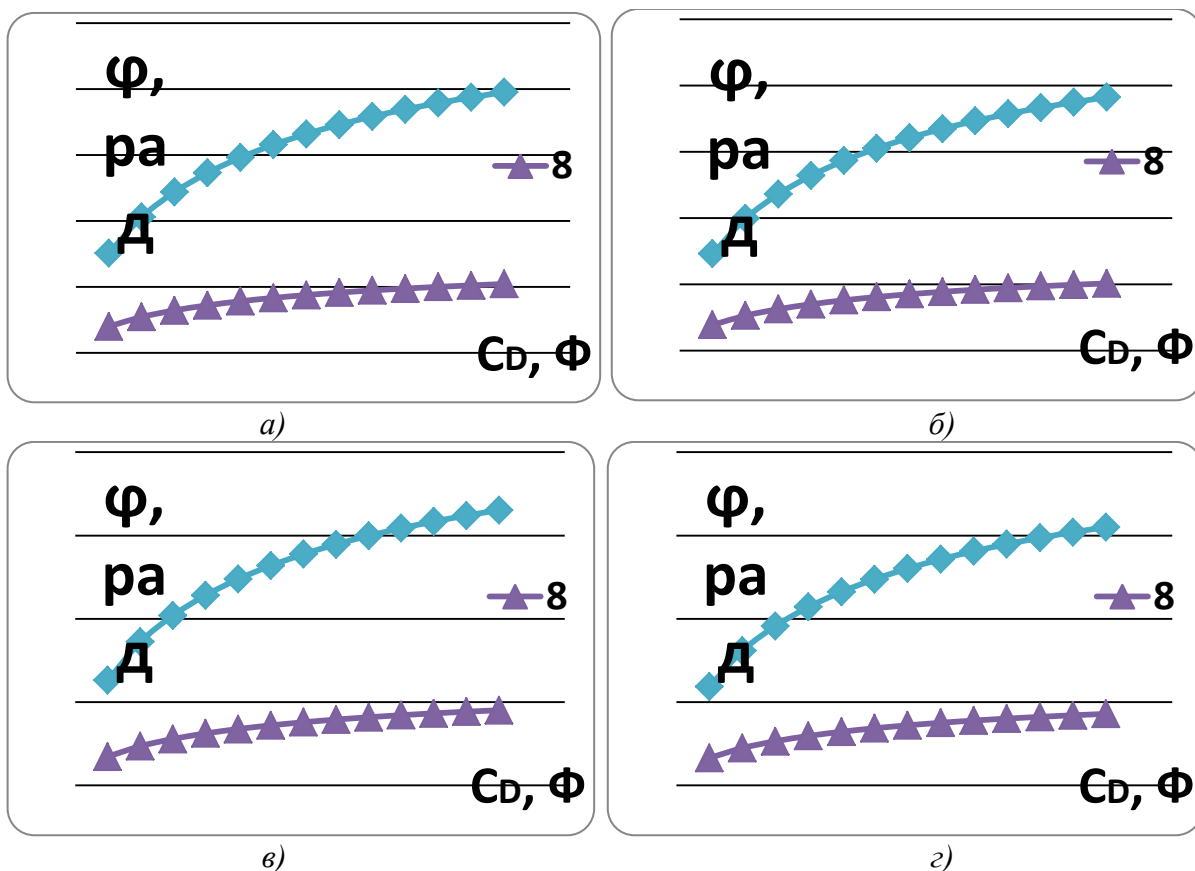
Рис. 1 – Залежність зміни внутрішньої індуктивності ґрунту від значення питомого опору ґрунту

$$\varphi = 2\pi f \sqrt{\frac{R_C(L_P + L_{S1} + L_{S2})C_C C_D}{(Z_i + R_0 + R_C + R_S)(C_C + C_D)}} \quad (3)$$

де C_D – ємність дефекту ізоляційного покриття (ємність відшарування ізоляції).

Отримані залежності (1) – (3) дають змогу оцінювати вплив параметрів оточуючого ґрунтового середовища на процес виявлення пошкоджень ізоляційного покриття під час обстеження ділянок підземних трубопроводів.

На рис. 2 наведено графіки залежності зсуву фази при наявності відшарувань ізоляційного покриття підземних трубопроводів, які розміщуються в ґрунтах з різних питомим опором. Розрахунки проведені на основі залежностей (2), (3) та згідно з [1].



а) – питомий опір ґрунту 20 Ом*м; б) – питомий опір ґрунту 50 Ом*м; в) питомий опір ґрунту 1500 Ом*м; г) питомий опір ґрунту 5000 Ом*м

Рис. 2 – Залежності зсуву фази від ємності відшарувань ізоляційного покриття підземних трубопроводів, які розміщуються в ґрунтах з різних питомим опором

Як видно з рис. 2, зміна питомого опору досить відчутно впливає на зміну зсуву фази – різниця зсуву фази може коливатися в межах 20%. За рахунок цього можуть виникнути помилки щодо трактування отриманої інформації, що призведе до значних неточностей у виявленні дефектів ізоляційного покриття. У зв'язку із цим виникає необхідність введення обов'язкової поправки при проведенні вимірювань зсуву фази на досліджуваній ділянці підземного трубопроводу залежно від типу ґрунту в місцях пролягання комунікації.

Таким чином, врахування параметру питомого опору ґрунту в аналітичних залежностях для електромагнітного фазового методу контролю дозволяє оцінити вплив типу ґрунтового середовища, в якому розміщується досліджуваний трубопровід, на виявлення пошкоджень ізоляційного покриття.

Література

1. Цих В.С. Розроблення методу та засобу контролю дефектів ізоляції підземних трубопроводів [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.11.13 / Цих Віталій Сергійович. – Івано-Франківськ, 2014. – 155 с.
2. Джала Р.М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів [Текст] // Механіка руйнування і міцність матеріалів : довідн. посіб. / [В.В. Панасюк]. – Т.5 : Неруйнівний контроль і технічна діагностика / під ред. З.Т. Назарчука. – Львів : ФМІ НАН України. – 2001. – Розд. 5. – С. 263-330.
3. Джала Р.М. Методи і засоби електромагнітних обстежень захисту від корозії підземних трубопроводів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.11.16 «Інформаційно-вимірювальні системи» / Джала Роман Михайлович, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – Львів, 2002. – 36 с.
4. Безконтактний метод і апаратура для оперативних обстежень підземних трубопроводів [Текст] / Джала Р.М., Дикмарова Л.П., Вербенець Б.Я., Хлипняч П.М. // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. наукових статей. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2006. – С. 57-61.
5. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов [Текст]: ВРД 39-1.10-026-2001. – М. : ВНИИГАЗ, 2001. – 62 с.
6. Вербенець Б.Я. Безконтактний метод і прилади для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин» / Вербенець Богдан Ярославович; Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка. – Львів, 2011. – 20 с.
7. Яворський А.В. Розробка методу та системи для безконтактного контролю стану ізоляції промислових нафтогазопроводів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин» / Яворський Андрій Вікторович, ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2005. – 20 с.
8. Методика та апаратура двочастотних вимірів для перевірки якості ізоляційного покриття трубопроводу у вологих ґрунтах та на підводних переходах [Текст] / Ткаленко М.А., Юхимець П.С., Мухлінін С.М. та ін. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – №1. – С. 19-23.
9. Мухлінін С.М. Вдосконалення методів та засобів контролю якості ізоляційного покриття трубопроводів, що знаходяться у вологих ґрунтах та під водою [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.11.13 / Мухлінін Сергій Михайлович. – Київ, 2012. – 192 с.
10. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії [Текст] – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 68 с.
11. Выбор оптимальной частоты измерительного сигнала для поиска мест повреждения изоляции трубопровода [Текст] / Вяхирев Н.И., Захаренко Л.А., Старостенко В.О. и др. // «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта»: материалы VII Международной научно-технической конференции (Новополоцк, 22-25 ноября 2011 г.). Новополоцк: ПГУ, 2011. С. 136-138.